



Journée technique

CONSTRUIRE DES OUVRAGES EN BETON AVEC LE NOUVEAU FASCICULE 65 DU CCTG

Laval - 26 septembre 2017



Chapitre 8.2 : Opérations préliminaires au bétonnage (anciens art. 85 et 87 de 2008)

Chapitre 8.3.2 : Contrôle des bétons à la mise en œuvre (ancien art. 86)

Jean-Loup MICHEL
Cerema Normandie-Centre

26 septembre 2017

Contrôle du béton en amont

Documents qualité et d'exécution

Principaux documents

- ✓ Plan Qualité général
- ✓ Plan Qualité particulier « formulation, fabrication et transport du béton » du fournisseur de béton
- ✓ Dossier d'études des bétons
- ✓ Programme de convenance
- ✓ Plan Qualité particulier « bétonnage » avec plan de contrôle, d'exécution et fiches de suivi par partie d'ouvrage

Agrément des centrales à béton

L'agrément des centrales à béton est donné à partir du Plan Qualité particulier « formulation, fabrication et transport du béton » soumis au visa du Maître d'œuvre (**point d'arrêt**) et qui doit traiter :

- ✓ formulation des bétons en référence aux exigences du CCTP (classes d'exposition, alcali-réaction, RSI, adaptation par temps froid ou chaud, ...) avec fiches techniques des constituants
- ✓ références ou épreuves d'étude
- ✓ informations sur l'outil de production de la centrale principale (voire centrale de secours) admise à la **marque NF**
- ✓ organisation de la qualité et moyens de contrôle internes de fabrication
- ✓ moyens de transport

Et fourniture d'un programme de convenance de fabrication avec précisions de la nature des contrôles et des prélèvements réalisés.

Agrément des centrales à béton

Même si les centrales sont certifiées NF, il convient de vérifier que :

- ✓ la localisation géographique des centrales à béton est compatible avec les exigences du chantier.
- ✓ leur capacité de production est suffisante.
- ✓ les constituants sont approvisionnés en quantité suffisante sur toutes les centrales susceptibles de livrer le chantier
- ✓ le nombre de camions malaxeurs est suffisant.
- ✓ le niveau d'équipement des centrales respecte les dispositions de l'annexe B du fascicule 65.

Agrément des formules béton

Concernant les formulations, il convient d'abord de vérifier l'adéquation :

- ✓ des classes d'exposition et de chlorures
- ✓ de la classe de résistance caractéristique
- ✓ de l'ouvrabilité (rhéologie) et son évolution dans le temps (délai maximal d'utilisation)
- ✓ de la dimension maximale des granulats (limitation due à la densité de ferrailage et à l'enrobage)
- ✓ du type, de la classe et des caractéristiques complémentaires du ciment
- ✓ du dosage minimal en ciment
- ✓ du rapport $E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$
- ✓ de la qualification de la formule vis-à-vis de la prévention de l'alcali-réaction et de la réaction sulfatique interne

Agrément des formules béton

Concernant les formulations, il convient de vérifier en outre, dans le cas d'ouvrages particuliers ou exceptionnels, l'adéquation des caractéristiques supplémentaires suivantes :

- ✓ limitation de la chaleur d'hydratation du béton (risques de fissuration d'origine thermique)
- ✓ limitation des retraits endogène et de dessiccation
- ✓ résistance au gel, ou au gel avec sels de déverglaçage
- ✓ fluage (structure précontrainte)
- ✓ durabilité suivant les indicateurs de durabilité sur béton durci retenus (porosité accessible à l'eau, coefficient de diffusion des chlorures, perméabilité au gaz)

Épreuve d'étude (8.2.1)

- obligation de justifier la composition par l'une des deux méthodes :
 - références d'utilisation
 - épreuve d'étude en laboratoire
- l'épreuve d'étude fait l'objet d'un point d'arrêt

Références d'utilisation (8.2.1.1)

- intégration dans le texte de l'ancien commentaire sur l'appréciation des « conditions équivalentes d'utilisation d'une formule de béton »
- intégration de l'approche performantielle
- « dans le cas de bétons d'ingénierie, l'étude préliminaire au sens de la norme NF EN 206/CN peut prendre en compte l'existence de références probantes »

Références d'utilisation (8.2.1.1)

Béton fabriqué et mis en œuvre dans des conditions équivalentes (< 2 ans)

Rc 28 sur **n** prélèvements (consistances dans la fourchette requise) :

$$n \geq 12$$

$$f_{\text{cmoy}} \geq f_{\text{ck}} + K(n) S$$

$$f_{\text{cmoy}} \geq f_{\text{ck}} + 6$$

où S est l'écart-type des n résultats (≈ 1 an, pour variabilité des fabrications)

n	12	40	75	100	200
K(n)	2	2	1,9	1,86	1,80

Épreuve d'étude en laboratoire (8.2.1.2)

- elle est exécutée par le Titulaire du marché et sous sa responsabilité
- elle consiste à vérifier les **performances** et la **robustesse** de la formule proposée
- les dispositions additionnelles des « recommandations pour la durabilité des bétons soumis au gel » sont à respecter **si elles ont été prescrites au marché**

Épreuve d'étude en laboratoire (8.2.1.2)

Gâchée nominale (8.2.1.2.1)

- ajout de la vérification du **maintien de consistance** pendant la durée pratique d'utilisation T_m
- ajout d'une **mesure de calorimétrie** si la température maximale évaluée selon l'annexe IV du guide RSI de 2007, se situe à moins de 5°C de la température maximale du niveau de prévention considéré
- Détermination de la porosité à l'eau (méthode performantielle)

Épreuve d'étude en laboratoire (8.2.1.2)

Gâchées dérivées (8.2.1.2.2)

- gâchées dérivées ± 10 litres d'eau (± 5 l pour les BAP et BHP)
- si imposées au CCTP : gâchées dérivées en S/G, ciment, adjuvants
- pour chaque gâchée dérivée réalisée :
1 essai de consistance, 3 éprouvettes pour Rc28j, + essais nécessaires selon spécifications (stabilité tamis, boîte en L, indicateurs de durabilité...)

Épreuve d'étude en laboratoire (8.2.1.2)

Gâchées dérivées (8.2.1.2.2)

Validation

- essais de consistance compris dans la fourchette spécifiée sur toute la durée pratique d'utilisation (T_m)
et
- essais de résistance en compression à 28 jours compris dans la fourchette $f_{CE} \pm 0,15 f_{CE}$
et
- indicateurs de durabilité conformes aux valeurs limites autorisées

sinon, ajuster la formule nominale ou restreindre les variations admissibles

Épreuve d'étude en laboratoire (8.2.1.2)

Validation de l'épreuve d'étude si :

- La consistance reste dans la fourchette visée jusqu'à T_m
- $F_{CE} > F_{CK} + \lambda (C_E - C_{\min})$, avec $\lambda = 1$ sauf justification
- $F_{CE} > F_{CK} + 2 S$, avec $S \geq 3$
- Résultats d'essais sur gâchées dérivées restent dans les fourchettes admissibles

Épreuves d'études des bétons XF3 (\rightarrow G) et XF4 (\rightarrow G+S)

Bétons	(G)	(G+S)
facteur d'espacement (ASTM C 457-98)	$\leq 250 \mu\text{m}$	$\leq 200 \mu\text{m}$
écaillage (XP P 18-420)	Sans objet	$\leq 600 \text{ g/m}^2$
allongement relatif (NF P 18-424 et NF P 18-425)	$\leq 400 \mu\text{m/m}$	$\leq 400 \mu\text{m/m}$
rapport des carrés des fréquences de résonance (mesurées suivant la norme P 18-414)	≥ 75	≥ 75

Épreuve de convenance

Avant la réalisation des épreuves de convenance, le **programme de convenance** est à valider. Il convient de vérifier que :

- ✓ l'ouvrabilité et le délai maximal d'utilisation (ou durée pratique d'utilisation) sont précisées et sont compatibles avec les exigences du chantier
- ✓ le nombre de gâchées et leur volume sont suffisants
- ✓ les caractéristiques complémentaires éventuelles seront vérifiées (gel, durabilité, exothermie ...)
- ✓ l'ensemble du matériel de mise en œuvre sera utilisé (essai de **pompage** notamment)
- ✓ l'élément témoin éventuel est prévu d'être réalisé et est conçu de manière à bien évaluer les difficultés les plus importantes de mise en oeuvre

Épreuve de convenance (8.2.3)

- « Dans les cas particuliers où une fluidification sur le chantier est prévue, l'épreuve de convenance doit permettre une validation des dispositions prévues dans le programme de bétonnage »
- Les dispositions additionnelles des « recommandations pour la durabilité des bétons soumis au gel » sont à respecter **si elles ont été prescrites au marché**
- Intégration de l'ancien commentaire de l'Art 87 pour les BAP, sur la possibilité d'ajuster dans la limite de $\pm 20\%$ le dosage en superplastifiant en cas de valeur d'étalement différente de l'épreuve d'étude, pour s'adapter aux conditions réelles de malaxage.

Épreuve de convenance (8.2.3)

Contenu inchangé (hors Approche performantielle)

- avec références d'utilisation probantes : **1 gâchée**
- sans référence d'utilisation probante : **3 gâchées mini** avec vérification du maintien de la rhéologie
- vérification des performances sur béton durci

Épreuve de convenance (8.2.3)

Validation inchangée (hors Approche performantielle)

- Chantier d'une durée de plus de trois mois :

$$F_{CE} > F_{CK} + \lambda (C_E - C_{\min}), \text{ avec } \lambda = 1 \text{ sauf justification}$$

et

$$F_{CE} > F_{CK} + 2 S, \text{ avec } S \geq 3$$

- Chantier d'une durée de moins de trois mois :

- $F_{CE} > F_{CK} + 2 S, \text{ avec } S \geq 3$

Épreuve de convenance (8.2.3)

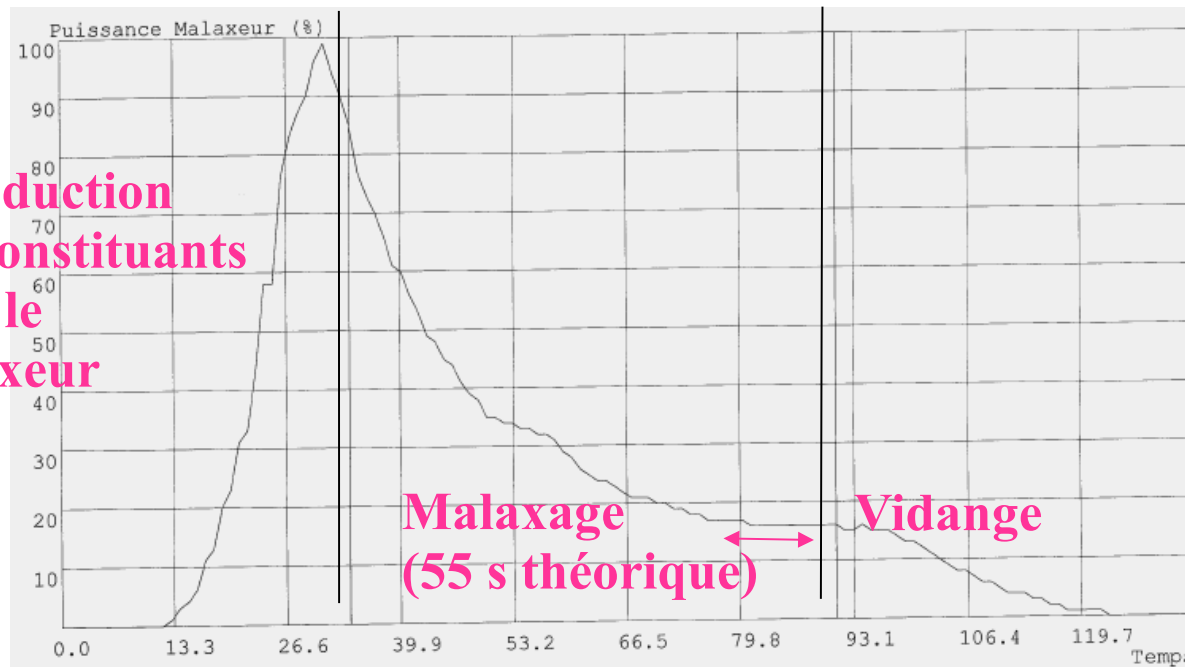
Et si les résultats relatifs à la réalisation de l'élément témoin (si prévu au marché) sont jugés satisfaisants.

Il convient de s'assurer que le temps de malaxage retenu est suffisant au regard de la courbe wattmétrique (stabilisation).

Épreuve de convenance (8.2.3)

Courbe wattmétrique

Introduction
des constituants
dans le
malaxeur



Malaxage
(55 s théorique)

Vidange

Gachées 1

15/09/09	Formule 20006788	Malaxage : 55s				
01	09:21	2.00 M3	Ajout d'eau : 0.0 l	M1	16%	58s
02	09:23	2.00 M3	Ajout d'eau : 0.0 l			
03	09:25	2.00 M3	Ajout d'eau : 0.0 l			
04	09:27	2.00 M3	Ajout d'eau : 0.0 l			

Épreuve de convenance (8.2.3)

Il convient de prévoir des convenances simplifiées lors des changements de saison (adaptation de l'adjuvantation) pour disposer d'une rhéologie suffisante sur la durée d'utilisation définie.

Cas particuliers :

- ✓ Bétons XF3 ou XF4 → Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel (G ou G+S)
- ✓ BAP, BHP

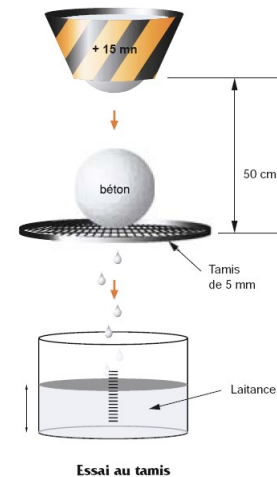
Les résultats de l'épreuve de convenance constituent un [point d'arrêt](#).

Épreuve de convenance



Épreuves de convenance des BAP

- ✓ Réalisation d'une gâchée nominale et de deux gâchées dérivées pour faire varier la teneur en eau dans les limites admissibles prévues à l'étude afin de parcourir l'étendue de la fourchette d'étalement admissible à la réception
- ✓ Conformité si
 - critère de résistance en compression satisfait pour chaque gâchée
 - critère de résistance à la ségrégation satisfait pour la gâchée présentant la valeur haute d'étalement
 - critère d'écoulement à la boîte en L satisfait pour la gâchée présentant la valeur basse d'étalement



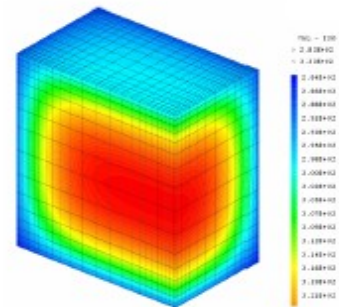
Élément témoin

La réalisation de l'élément témoin prévu au marché fait partie intégrante de l'épreuve de convenance (**point d'arrêt**).

Il peut être de différente nature :

- ✓ partie de l'ouvrage pour apprécier les difficultés de ferrailage, de coffrage et de bétonnage (coulage et vibration notamment)
- ✓ partie de l'ouvrage pour apprécier la qualité de parement (soignés fins ou soignés ouvragés avec matrice)
- ✓ massif de béton pour vérifier les simulation de dégagement exothermique (RSI et gradients thermiques)

Cet élément à la charge de l'entrepreneur peut être à refaire jusqu'à acceptation de la Maîtrise d'Œuvre.



Élément témoin

Le fascicule 65 (art. 8.8.4.1) impose un élément témoin pour les parements fins et ouvragés.

Le béton témoin permettra de valider les caractéristiques de forme, de texture et de teinte.

En phase chantier, l'homogénéité de la teinte et de la texture sera appréciée par rapport à l'élément témoin de l'épreuve de convenance ou à défaut par rapport au premier élément coulé.

On contrôlera également le respect de l'enrobage (mesures au ferroskan).

8.2.2 Programme de bétonnage (ajouts ou précisions par rapport à 2008)

- Le temps maximal entre la fin de fabrication du béton et la fin de sa mise en place doit être inférieur à T_m
- Le cas échéant, nécessité d'une centrale de secours
- Les essais (type et fréquence) de contrôle de consistance à la réception
- Les prélèvements à réaliser dans le cadre des épreuves de contrôle
- Les dispositions relatives à la prévention de la RSI

Contrôle de la procédure de bétonnage

Le Plan Qualité particulier « bétonnage » soumis au visa du Maître d'œuvre (**point d'arrêt**) doit traiter des aspects suivants :

- ✓ coffrage et parement
- ✓ mise en œuvre du béton (y compris vibration et finition)
- ✓ cure et décoffrage
- ✓ reprise de bétonnage
- ✓ traitement des non-conformités et défauts apparents du béton

Outre les formules de béton, l'ensemble des produits utilisés (peau coffrante/matrice ouvragée, produit de démoulage, produit de cure, produit de réparation, ...) doivent avoir été préalablement agréés par le Maître d'œuvre.

Contrôle de la procédure de bétonnage

Le point « traitement des non-conformités et défauts apparents du béton » doit permettre le cas échéant de traiter les cas suivants :

- ✓ Nids de cailloux, cavités, fuites de laitance, soufflures
- ✓ Epaufrures avec ou sans aciers apparents
- ✓ Aciers apparents, insuffisance d'enrobage
- ✓ Fissures, fractures
- ✓ Pommelage, tâches noires, ressuage, défaut de teinte
- ✓ Efflorescences, traces de rouille
- ✓ Défauts de géométrie, défauts de profilage

Pour chaque défaut constaté, la mise en œuvre d'une technique de réparation implique préalablement la fourniture d'une procédure de réparation visée par le Maître d'œuvre, la réalisation d'une épreuve de convenance probante et la définition d'un plan de contrôle.

8.3.2 Contrôle des bétons à la mise en œuvre

Une épreuve de contrôle constitue le contrôle de conformité d'**un lot de béton** préalablement défini au CCTP

Volume d'un lot $> 40 \text{ m}^3$

Exemple PETRA

Lot	Nombre de prélèvements
Appuis	3 par appui
Tablier	4 pour l'ensemble

Par prélèvement :

- 1 mesure de consistance
- 3 éprouvettes pour Rc 28j
- 1 teneur en air si formule avec entraîneur d'air

8.3.2 Contrôle des bétons à la mise en œuvre

Critères de conformité

Consistance

Affaissement et étalement (BAP)

Tous les résultats sont dans la fourchette requise

Affaissement	
Valeur cible en mm	Tolérance en mm
≤ 40	± 10
50 à 90	± 20
≥ 100	± 30



Étalement au cône	
Valeur cible en mm	Tolérance en mm
Toutes les valeurs	± 50

Pas de ± 10 mm supplémentaires sur l'affaissement comme dans la NF EN 206/CN

8.3.2 Contrôle des bétons à la mise en œuvre

Critères de conformité

Résultats à la compression à 28j

Le lot est réputé conforme si les 2 conditions suivantes sont remplies :

$$\text{Relation 1 : } \overline{f_c} \geq f_{ck} + K_1$$

$$\text{Relation 2 : } f_{c1} \geq f_{ck} - 4(\text{MPa})$$

Avec :

$\overline{f_c}$ La moyenne arithmétique des résultats, les essais étant réalisés suivant la norme NF EN 12390-3 en excluant de la moyenne les essais avec rupture incorrecte, et en transposant les résultats suivant les règles du NA 5.5.1.1 de la norme NF EN 206/CN en fonction des dimensions des éprouvettes

f_{c1} Le plus petit résultat

f_{ck} La résistance caractéristique requise

K_1 Grandeur dont la valeur numérique en MPa est donnée dans le tableau 8.H

Tableau 8.H

Valeurs de K_1		
n	Centrale NF ou préfa	Centrale chantier
3	2	2,7
6	3	3,4
9	3,3	3,7
12	3,5	3,8
≥ 15	1,2S	1,3S

n est nombre de prélèvements par lot

Merci de votre attention